

轨道车辆轴箱内置式转向架技术发展研究

贾洪龙 尹振坤 梁云 杨集友 谌亮 吕常秀 王一淞

(中车长春轨道客车股份有限公司,130062,长春//第一作者,高级工程师)

摘要 随着轨道车辆技术的不断发展,对转向架轻量化、低轮轨作用力等提出了更高的要求。国外多年的研究和试验表明,与轴箱外侧悬挂转向架相比,轴箱内置式转向架具有质量小、通过曲线能力强、轮轨磨损小、噪声低等特点。我国对内置式转向架,尤其是轴箱内置式转向架的研究较少,在工程上的应用也尚属空白。介绍了国内外轴箱内置式转向架的技术研究和市场应用情况。介绍了中车长春轨道客车股份有限公司在对国内外典型的轴箱内置式转向架研究的基础上开发的200 km/h速度等级以上的轴箱内置式转向架的构架和主要技术参数。

关键词 轨道车辆;内置式转向架;轴箱;技术发展

中图分类号 U270.331

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.09.014

Research on Development of Railway Vehicle Axle Box In-board Bogie Technology

JIA Honglong, YIN Zhenkun, LIANG Yun, YANG Jiyong, CHEN Liang, LV Changxiu, WANG Yisong

Abstract With the continuous technological development of railway vehicles, higher requirements are put forward for bogie such as lightweight and low wheel-rail force. The research and tests abroad over the years have shown that compared with the out-board bogie, the in-board bogie has the features of small mass, strong curve passing capacity, low wheel-rail wear and low noise. Little research has been conducted on in-board bogie, especially that axle box in-board bogie in China and related engineering application is a blank field. The research and market application situation of axle box in-board bogie technology at home and abroad are introduced. With research background of the domestic and foreign typical in-board bogie, CRRC Changchun Railway Vehicles Co. Ltd. has developed the in-board high-speed bogie with speed level above 200 km/h, the structure and main parameters of which are introduced.

Key words railway vehicle; in-board bogie; axle box; technology development

Author's address CRRC Changchun Railway Vehicle Co., Ltd., 130062, Changchun, China

轴箱内置式转向架将轴箱、轴承、一系悬挂安装在轮对内侧,由于构架支撑点也处在轮对内侧,所以又称作构架内置式转向架(以下简称“内置式转向架”),如图1所示。在结构上,通过减小一系悬挂的横向跨距,减小了构架、车轴等横向尺寸,从而减小了转向架整体的质量(约减重30%);通过减小一系悬挂的横向跨距,有效降低了轮对的摇头角刚度和转向架的扭曲刚度,便于通过小半径曲线。内置式转向架具有通过曲线能力强、轮轨磨损小、噪声低、适应线路扭曲能力强的特点,适用于运行速度不高、线路曲线半径小、坡度和顺坡率较大的轨道车辆。

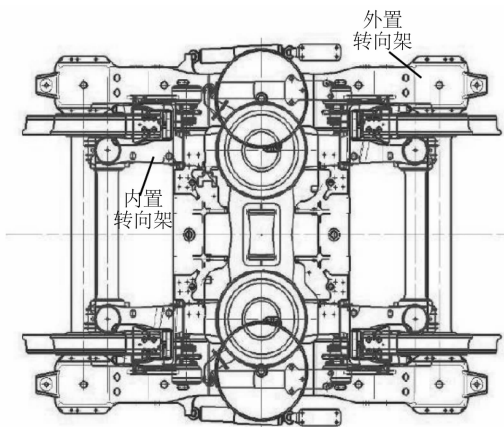


图1 内置式转向架和外置式转向架结构对比示意图

内置式转向架的缺点也非常明显。由于构架内置,转向架内部空间大大减小,在设计驱动装置部件(电机、齿轮箱)时,布置空间非常有限;轴承设置在车轮内侧,定期维护时,必须拆卸车轮;目前内置转向架尚未制定适用的设计、制造系列标准。因此,内置式转向架的运用并不广泛,主要集中在英国市场。国内只有少量的低地板轻轨车辆或直线电机地铁车辆采用了内置式转向架,运营速度在100 km/h左右。

随着电力驱动技术的进步、轨道车辆轻量化的需求以及对产品全寿命周期成本管理意识的日

益增长,内置式转向架以其质量小、维护成本低等优点越来越受到国内外轨道车辆制造商和运营单位的青睐。2018 年,西门子发布了研发 5 年之久的新型高速列车 Velaro Novo,最高速度可达 360 km/h,列车的质量减轻了 15%,能耗降低了 30%,预计在 2023 年正式投入运营。公开资料显示,该列车就采用了内置式转向架。文献[4]预测内置式转向架将会成为我国下一代高速列车发展的关键技术方向之一。目前,中国中车集团旗下各主机厂也均在进行内置式高速转向架的技术研究和试制。笔者将重点介绍国内外的内置式转向架技术发展情况以及几种典型的内置式转向架结构和技术参数。

1 国外内置式转向架技术发展情况

国外内置式转向架技术运用的较早,但最能代表现代内置式转向架技术发展的是庞巴迪在 20 世纪 80 年代基于英国铁路开发的 B5000 转向架。与相应的传统转向架相比,B5000 转向架的质量减少了 30%~35%,簧下质量减少了 30%~40%。在 B5000 转向架的基础上,2001 年庞巴迪研制的 B5005 转向架代表了现代内置式转向架的第一个典型应用,使用在英国的 Voyager、Meridian 和 Turbostar 城际列车上,其良好的轨道友好性和较低的维护费用深受英国运营公司喜爱。同年,庞巴迪公司在 B5000 系列转向架基础上还为德国国铁(DB)ICE2 试验车开发和研制了应用于拖车的 TR400 拖车转向架,试验速度最高达到了 392 km/h,显示了内置式转向架的广泛应用范围。在此基础上,庞巴迪又开发了 Flexx Eco 系列的内置式转向架,其中 Flexx Eco 501x 动车转向架运用于英国的 Aventura 城际列车动车, Flexx Eco 5101 拖车转向架运用于德国国铁新一代 ICE4 拖车转向架。

西门子在 2016 年为英国专门设计了 Desiro City 城际列车,运营在 Thameslink 线上,运营速度最高为 160 km/h。该列车采用了西门子 SF7000 型内置式转向架(包括动车、拖车两种类型),代表了西门子最典型的内置式转向架技术应用。

日立公司(Hitachi)在 2017 年针对苏格兰的 Falkirk 线(连接爱丁堡和格拉斯哥)研发了 AT-200/300 型高速城际列车,最高运营速度可达到 200 km/h,在部分拖车上也采用了内置式转向架。

1.1 庞巴迪 B5005 动车转向架

庞巴迪 B5005 动车转向架(见图 2~3)构架为 H 型焊接构架。一系悬挂采用橡胶弹簧,提供了足够大的阻尼,因此不需要再设置垂向减振器。二系悬挂采用空气弹簧,附加空气室安装在车体上。二系悬挂还设置有横向和垂向减振器、抗蛇行减振器。牵引装置采用单拉杆牵引方式。转向架配备有 4 个轮装制动盘,并设置了弹簧停放制动单元。电机采用体悬式安装方式,安装在车体下方。庞巴迪 B5005 动车转向架主要技术参数见表 1。

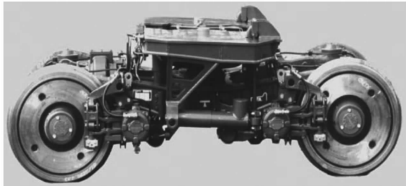


图 2 庞巴迪 B5005 动车转向架

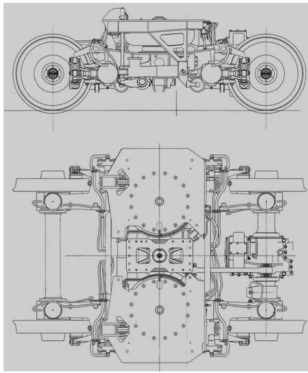


图 3 庞巴迪 B5005 动车转向架二维视图

表 1 庞巴迪 B5005 转向架主要技术参数

项目	取值
最高运行速度/(km/h)	200
轴重/t	15
质量/t	4.77
车轮直径/mm	790(新),716(磨耗)
轴距/mm	2 250
一系簧跨距/mm	1 145
空气弹簧跨距/mm	1 150

注:该转向架的基础制动为轮装制动盘。

1.2 庞巴迪 TR400 拖车转向架

庞巴迪 TR400 拖车转向架(见图 4)构架为 H 型焊接构架。一系悬挂由橡胶叠簧和垂向减振器组成,采用拉杆式定位方式。二系悬挂采用空气弹簧。该转向架设计采用了半主动垂向减振和主动

横向悬挂特殊技术,设置了一个主动横向和一个半主动垂向减振系统,以提高列车高速运行下的舒适性;每侧有 2 个抗蛇行减振器,并设置了抗侧滚扭杆;车体和二系悬挂之间设置有过渡的联系枕梁,同时作为空气弹簧的附加气室。该转向架基础制动装置包括 4 个轮装制动盘、每轴 1 个斜对称的轴装制动盘,以及磁轨制动器或涡流制动器。庞巴迪 TR400 拖车转向架主要技术参数见表 2。

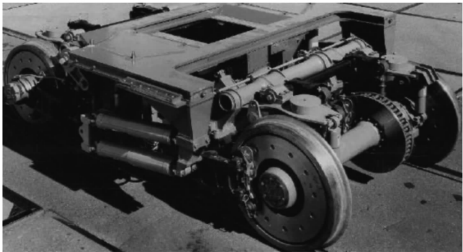


图 4 庞巴迪 TR400 拖车转向架

表 2 庞巴迪 TR400 拖车转向架主要技术参数	
项目	取值
最高运行速度/(km/h)	350
轴重/t	15
质量/t	5.1
车轮直径/mm	780(新),730(磨耗)
轴距/mm	2 500
一系簧跨距/mm	1 080
空气弹簧跨距/mm	1 140

注:该转向架的基础制动为轮装+轴装制动盘,磁轨/涡流制动。

1.3 庞巴迪 Flexx Eco 5101 拖车转向架

庞巴迪 Flexx Eco 5101 拖车转向架(见图 5)构架(见图 6)为焊接结构,包括 2 根纵梁,通过箱型横梁相连,呈 H 型形状。一系悬挂由金属橡胶弹簧组成。由于内置式转向架的轴颈间距较小,一系悬挂在垂直方向上刚度的设计相对比较硬,可防止侧滚。轮对每侧设置一个含有金属橡胶节点的定位拉杆,拉杆的定位刚度较小,使得轮对在曲线上可以良好地径向通过。二系悬挂系统由安装在转向架纵梁中心的空气弹簧和橡胶弹簧串联组成,空气弹簧内部还集成了紧急锥形弹簧。该转向架还设置了安装在构架上的抗侧滚扭杆,由于转向架内部缺少设计空间,扭杆设计成中间为弓型的弯杆。该转向架基础制动装置采用电空紧凑型制动单元,轮装制动的制动夹钳还配备了弹簧停放制动单元。除了空气制动外,还安装了磁轨制动器,在紧急制动时使用。庞巴迪 Flexx Eco 5101 拖车转向架主要技术参数见表 3。

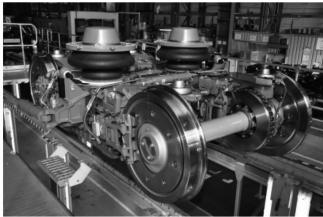


图 5 庞巴迪 Flexx Eco 5101 拖车转向架

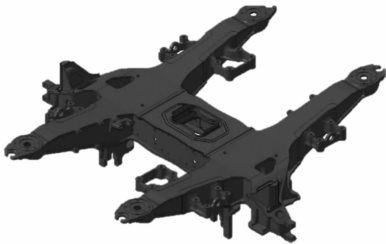


图 6 庞巴迪 Flexx Eco 5101 拖车转向架构架

表 3 庞巴迪 Flexx Eco 5101 拖车转向架主要技术参数

项目	取值
最高运行速度/(km/h)	250
轴重/t	19.3
质量/t	5.5
车轮直径/mm	825(新),750(磨耗)
轴距/mm	2 300
一系簧跨距/mm	1 120
空气弹簧跨距/mm	1 120

注:该转向架的基础制动为轮装+轴装制动盘。

1.4 西门子 SF7000 型转向架

西门子 SF7000 型转向架(见图 7~8)包括动、拖两个版本,是在原有 SF5000 型转向架(轴箱外置)基础上的升级产品,保持了原 SF5000 型转向架的结构主体。该转向架一系悬挂采用鞍形叠层橡胶弹簧,类似转臂式的定位方式,配置有空气弹簧、垂向减振器、抗蛇行减振器、抗侧滚扭杆等。动车和拖车转向架之间的主要差异在于制动系统,动车转向架在每个轮上安装有踏面制动,但动车转向架主要利用再生制动;拖车转向架每个轮对有 2 个轴装制动盘。西门子 SF7000 型转向架主要技术参数

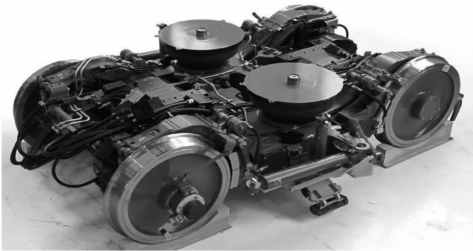


图 7 西门子 SF7000 型动车转向架

见表 4。



图 8 西门子 SF7000 型拖车转向架

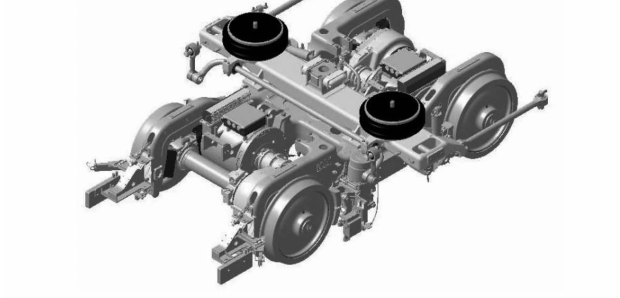


图 9 美国波士顿地铁项目轴箱内置式动车转向架

表 4 西门子 SF7000 型转向架主要技术参数	
项目	取值
最高运行速度/(km/h)	160
轴重(动车/拖车)/t	15.5/14.5
质量(动车/拖车)/t	5.8/4.1
车轮直径/mm	820(新),760(磨耗)
轴距(动车/拖车)/mm	2 200/2 100
一系簧跨距/mm	1 150
空气弹簧跨距/mm	1 100

注：该转向架的基础制动为踏面制动/轴装制动盘。

表 5 波士顿地铁项目轴箱内置式转向架主要技术参数	
项目	取值
最高运行速度/(km/h)	101
轴重/t	14.2
重量/t	5.5
车轮直径/mm	711.2(新),654.0(磨耗)
轴距/mm	2 083
一系簧跨距/mm	1 165.2
空气弹簧跨距/mm	1 556.4

注：该转向架的基础制动为踏面制动。

2 国内内置式转向架技术发展情况

国内内置式转向架技术发展起步较晚,目前还没有城际列车采用轴箱内置式转向架,因此缺少相关技术研究和积累。2014 年,中车长春轨道客车股份有限公司中标美国波士顿地铁项目,依托该项目要求,自主研发了轴箱内置式地铁转向架,最高试验速度为 112 km/h。针对潜在的英、德等国家的城际列车市场,中车长春轨道客车股份有限公司开发了速度等级为 200 km/h 以上的内置式转向架作为技术储备,同时也已着手进行 300 km/h 以上速度等级的内置式转向架的研究和开发。

2.1 美国波士顿地铁项目轴箱内置式转向架

美国波士顿地铁项目轴箱内置式转向架(见图 9)为轴箱内置式带摇枕结构,采用整体铸造构架和铸造摇枕;二系悬挂采用双曲囊空气弹簧,控制模式采用三点控制方式;一系悬挂采用人字形橡胶弹簧,每根车轴都由 1 套驱动装置驱动;每个转向架上装有 4 套踏面制动单元,其中每车一位转向架安装 2 套带停放功能的制动单元;采用第三轨受流方式;一位转向架上还装有信号天线、轮缘润滑、三轨冰雪刮刀及紧急停车触发装置。美国波士顿地铁项目轴箱内置式转向架主要设计技术参数见表 5。

2.2 速度等级为 200 km/h 的轴箱内置式转向架

速度等级为 200 km/h 的轴箱内置式转向架(见图 10)采用 H 型焊接构架,横梁采用钢板焊接结构,抗蛇行减振器座安装座采用模块化设计,螺栓安装方式便于螺栓的拆装和更换;一系悬挂采用 2 个纵向布置的橡胶圆锥弹簧,垂向承载能力强,同时单个弹簧的直径较小、横向空间占用少;轴箱采用分体式结构设计,拆卸上、下箱体之间的连接螺栓即可实现轮对的快速更换;一系定位采用单个轴箱拉杆定位方式,轴箱拉杆安装座位于轴箱中部。牵引和制动时,轴箱拉杆作用力直接作用于车轴中心,不会对轴箱产生附加力矩。轴箱拉杆的两端为橡胶节点,橡胶节点的纵向刚度可调,可以满足高速动车组转向架轮对纵向定位刚度较大的要求。中央牵引装置采用一组牵引橡胶堆,与传统的 Z 型牵引拉杆、单拉杆以及两组橡胶堆设计结构相比,此结构横向和纵向空间占用小,且结构简单,即中心销直接与纵向布置的牵引橡胶堆接触,传递牵引力和制动力,接触表面采用低摩擦涂层。牵引电机通过 3 个橡胶节点吊装在构架横梁上,减少了构架横梁振动。齿轮箱吊杆的安装座位于构架侧梁,减少了构架横梁的受力。采用轮装制动盘,轮盘制动

夹钳位于构架侧梁的端部,相对于轮盘制动夹钳位于构架中部,这种布置形式避免了轮盘制动夹钳与轴箱定位拉杆的干涉问题,保证轴箱定位拉杆可以在轴箱中心水平放置,实现转向架的紧凑设计。速度等级为 200 km/h 的轴箱内置式转向架主要设计技术参数见表 6。

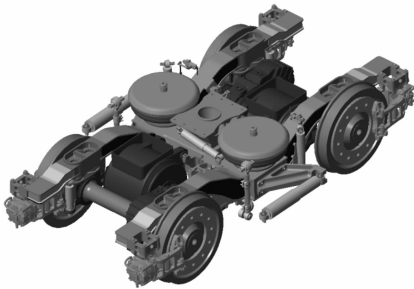


图 10 速度等级为 200 km/h 的轴箱内置式动车转向架

表 6 速度等级为 200 km/h 的轴箱内置式转向架
主要技术参数

项目	取值
最高运行速度/(km/h)	250
轴重/t	17
质量(动车/拖车)/t	6.9/5.4
车轮直径(新/磨耗)/mm	860/790
轴距/mm	2 300
一系簧跨距/mm	1 120
空气弹簧跨距/mm	1 120

注:该转向架的基础制动为轮盘/轮盘+轴盘制动。

3 内置式转向架的发展前景展望

新一代高速列车将明显提升结构可靠性、系统安全性、维修经济性等指标,这就要求设计人员通过结构设计创新,有效降低轮轨作用力,提高载客量的同时改善列车的综合性能指标。内置式转向架在降低基础设施投入、降低线路维护费用、降低车轮质量、降低轮轨作用力等方面具有明显的优势,而且几乎可以涵盖所有应用领域。结合目前永磁电机、碳纤维等技术的发展,新型的、更高速的内置式转向架技术将会得到蓬勃发展。

参考文献

[1] 严隽毫. 车辆工程[M]. 3 版. 北京:中国铁道出版社,2007.

[2] 孙天助,梁树林,傅茂海,等. 内侧轴箱式转向架曲线通过性能研究[J]. 铁道车辆,2008(12): 1.

[3] 刘志远,张文康,高纯友,等. 美国波士顿地铁轴箱内置式转向架结构设计[J]. 城市轨道交通研究,2019(3): 162.

[4] 缪炳荣,张卫华,池茂儒,等. 下一代高速列车关键技术特征分析及展望[J]. 铁道学报, 2019(3): 58.

[5] JAKOB J,王渤洪,张文茂. 创新的 TR400 型转向架——未来高速转向架的开发和试验[J]. 变流技术与电力牵引,2005(3): 33.

[6] PROSE Ltd. . Consulting-200 km/h bogies with inboard bogie frame[R]. Winterthur,PROSE Ltd. ,2017.

[7] DAVID B,李晓琳. 日立公司在柏林展出的新型列车模型[J]. 国外铁道车辆,2015(5): 20.

(收稿日期:2019-09-21)

(上接第 58 页)

[5] 刘玉慧. 基于高铁运营场景的系统级故障诊断研究[D]. 北京:北京交通大学,2016.

[6] 杨卫东. CTCS-2 级列控系统在城际铁路中的技术研究[D]. 兰州:兰州交通大学,2016.

[7] 王向阳,朵建华,高晓菲. 城市轨道交通全自动无人驾驶系统与传统 CBTC 系统差异分析与探讨[J]. 铁路技术创新,2019(5): 22.

[8] 宁滨,郇春海,李开成,等. 中国城市轨道交通全自动运行系统技术及应用[J]. 北京交通大学学报,2019(1): 1.

[9] 刘鹏翱. 城市轨道交通全自动驾驶运营安全分析与列车运行模拟仿真[D]. 北京:北京交通大学,2017.

[10] 李超,谢坤武. 软件需求分析方法研究进展[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版),2013(2): 204.

[11] 任鹏程. 复杂场景下列控系统功能验证分析[D]. 北京:北京交通大学,2016.

[12] 谭文举,杨卫峰,廖彦,等. 城市轨道交通全自动运行系统设计及场景分析[J]. 机车电传动,2019(4): 112.

[13] 张利宽,吴苏婷,杨远舟. 基于场景的城轨交通试运营基本条件评估中设备测试检验方案研究[J]. 现代城市轨道交通,2015(3): 65.

[14] 何春明,陈盈,石海丰,等. 郑州-西安客运专线 CTCS-3 级列控系统联调联试[J]. 铁路通信信号工程技术,2011(4): 14.

[15] 沙晓利. CTCS-3 级列控仿真培训系统[D]. 兰州:兰州交通大学,2018.

[16] 李强. 上海磁浮示范运营列车速度曲线监控功能分析[J]. 城市轨道交通研究,2006(2): 47.

[17] 虞翊,姜西,林辉,等. 基于防护速度的高速磁浮辅助停车区设置[J]. 同济大学学报(自然科学版),2019(9): 1310.

(收稿日期:2020-03-22)